

漂着軽石の物性と利用技術

袖山研一* , 樋口貴久* , 瀬戸口眞治**

Properties and Utilization Technology of Drifted Pumices

Kenichi SODEYAMA, Takahisa HIGUCHI and Shinji SETOGUCHI

小笠原諸島の海底火山「福德岡ノ場」の噴火に伴い発生した大量の軽石が、2021年10月以降南西諸島に漂着し、その処分が問題となっている。漂着軽石に含まれる高濃度の塩分の弊害があることや技術情報が少ないことから利用も進んでいない。そこで、漂着軽石の物性を評価し、利用技術について検討を行った。その結果、漂着軽石の塩分の低減方法、漂着軽石のゼオライト化、漂着軽石の粉碎物単身で赤金、紫、茶、黒の釉薬にできること、漂着軽石の浮力を活かして浮魚礁に利用できることを示した。南九州のシラスの利用技術も参考になる。

Keyword : 漂着軽石, 塩分, ゼオライト, 釉薬, 浮魚礁, シラス

1. 緒言

2021年8月13～15日、小笠原諸島の海底火山「福德岡ノ場（ふくとくおかのば）」で海底噴火が起き、多量の軽石が噴出した。その後、軽石は海流に乗り2か月をかけて約1,300kmほど離れた南西諸島に漂着し始めた。この大量の軽石の漂着により離島航路や漁船等の船舶の航行が困難となるなど、漁業、観光業等に深刻な被害が発生した。港等に漂着した軽石については回収作業が進められたが、軽石は塩分を含むため処分方法が問題となった。その漂着軽石の回収量は、鹿児島県では約18,410m³(鹿児島県危機管理課の令和4年5月31日に公表した数値を基に単位容積質量0.53kg/Lから算出)、沖縄県で80,910m³となった¹⁾。

当センターにおいても、本県内外の自治体や企業から漂着軽石の物性や利用方法に関する相談が多数寄せられたが、技術情報が少なく十分な対応ができなかった。そこで、2021年11月に地元住民が陸揚げした沖永良部島・和泊港（鹿児島県大島郡）の漂着軽石（図1）を入手し、簡易的な物性評価を行うとともに、塩分の低減方法、利用技術について検討したので報告する。

2. 漂着軽石の物性評価

2.1 物理的評価

漂着軽石の外観は灰白色で水分を多量に含んでいた。漂着軽石のJISA5308による粒度分布を図2に示す。平均粒径は約3.5mmであり、軽石以外にプラスチック片、海綿等の生物質、木質の異物が微量含まれていた。漂着軽石のJISA1104による単位容積質量は0.53kg/Lであり、水に24時間浸漬後の水浮揚率は95.0%であった。JIS A 1134に準ずる吸

水率は53.7%であり空隙が多いことがわかった。

漂着軽石のマイクロスコープ画像（図3）とSEM画像（図4）を示す。漂流中に互いにくっついて、あるいは浜辺等で転がって角がすべて円磨されたため丸みを帯びた形状になったと思われた²⁾。また、表面に水蒸気や火山ガスの発泡痕と推測される無数の気孔が観察された。

軽石の硬さを加圧して比較したところ、漂着軽石は南九州のシラス軽石よりも潰れやすく脆かった。これは、シラス軽石は巨大火砕流が大气中で堆積し圧密状態で徐冷したものであるのに対して、漂着軽石は海底噴火で海中に放出



図1 沖永良部島の和泊港に漂着した軽石

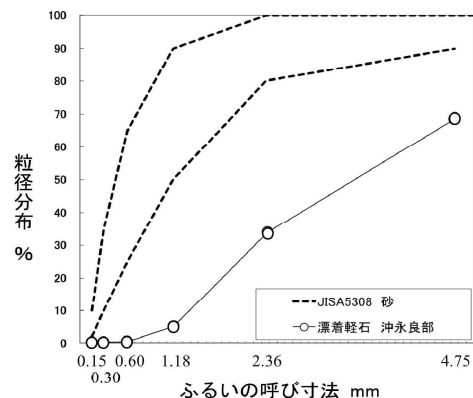


図2 漂着軽石の粒度分布

* シラス研究開発室

** 元所長（現 鹿児島大学 特任専門員）



図3 漂着軽石のマイクロスコップ画像

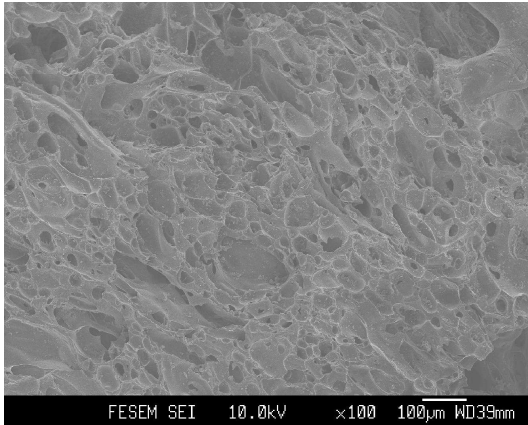


図4 漂着軽石の電子顕微鏡画像

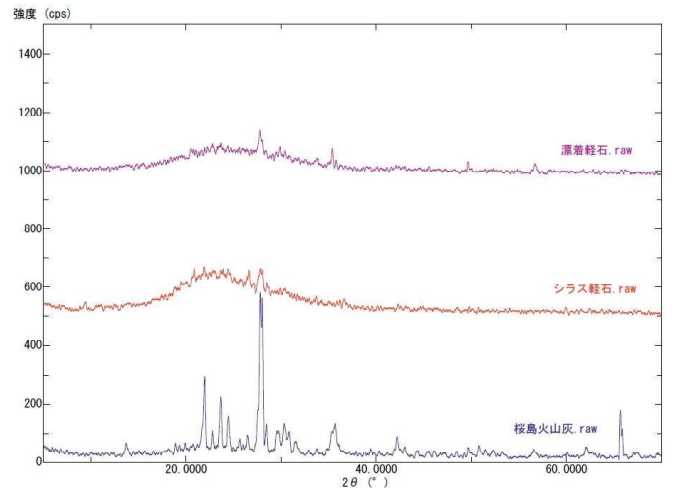
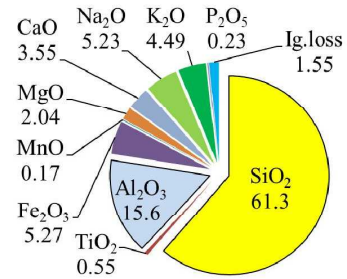
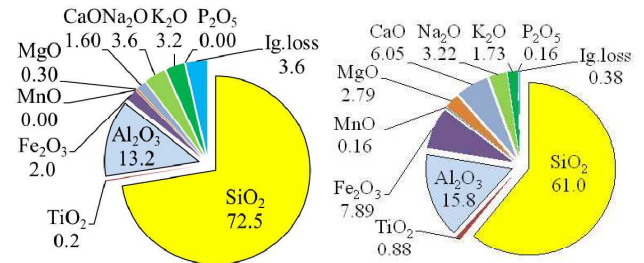


図5 上から漂着軽石, シラス軽石, 桜島火山灰の X線回折チャート



漂着軽石



シラス軽石

桜島火山灰

図6 漂着軽石, シラス軽石, 桜島火山灰の化学組成

され圧密されずに軽石単独の状態では急冷されたこと、漂流中の円磨作用で皮がむけたように軽石の中心部だけが残っていることなどが原因として考えられた²⁾。

2. 2 化学的評価

漂着軽石に含まれる海水由来の塩分について簡易分析を行った。塩分の指標として浸漬溶液の電気伝導率(Electric Conductivity: 以下EC)を測定し、希釈率とECから塩分を簡易的に算出した。塩分の検量線作成には、イオン交換水と富士フィルム和光純薬(株)製の塩化ナトリウムを用いた。イオン交換水2Lに漂着軽石40gを浸漬し、24時間後のECから元の塩分を算出した。その結果、漂着軽石の塩分は、1.0% (n3)であった。

図5に漂着軽石, シラス軽石, 桜島火山灰のX線回折チャートを示す。漂着軽石は、23°付近のブロードなピークの火山ガラスを主成分とし、27°付近のピークの石英を含んでおり、ほぼ火山ガラスからなるシラス軽石と鉱物組成が似ていることがわかった。桜島火山灰は、石英、長石、輝石、磁鉄鉱等の結晶質が多く検出され、火山ガラスは少ない。

蛍光X線分析法による化学組成を図6に示す。漂着軽石は、SiO₂:61.3%, Al₂O₃:15.6%, Fe₂O₃:5.27%, 強熱減量:1.55%であり、アルカリ金属, アルカリ土類金属を含んでいた。(国研)海洋研究開発機構によれば、漂着軽石は、アルカリ成分が多く (Na₂OとK₂Oの総量が10%前後), SiO₂

が60~70%のトカライト(粗面岩)に相当するとの報告がある^{3) 4)}。

漂着軽石の化学組成は、シラス軽石よりも桜島火山灰に近似しており、釉薬に用いられている桜島火山灰と同様な溶融発色性が想起された。

3. 漂着軽石の利用技術

沖縄県と鹿児島県に漂着した軽石の環境安全性については、環境省と沖縄県の重金属等の調査結果があり、溶出量, 含有量ともに基準値内であると報告されている^{5) 6)}。しかし、漂着軽石は、陸上に堆積している天然軽石とは異なり海水由来の塩分を含むため、軽量骨材としてコンクリートに利用する場合は鉄筋が腐食しやすく利用に制限がある。また、農業分野への利用としては、灌漑用水の塩分が収穫

量に悪影響を及ぼすことから⁷⁾、灌漑用水基準で塩分が厳しく制限されており、土壌改良材としての利用には注意が必要である。そこで、塩分除去方法や漂着軽石の利用法について検討した。

3. 1 塩分除去方法

天然軽量骨材は、JIS A 5002で塩分が0.01%以下と規定されていることから、水道水を用いた漂着軽石の塩分除去について検討した。霧島市隼人町の水道水を10kg, 30kg, 44kg, 64kg, 188kg, 343kg入れた水槽に、漂着軽石5kgずつをバラして浮かべて、24時間浸漬後の浸漬水の電気伝導率から漂着軽石の残留塩分を求めた。漂着軽石に対する水道水の重量比と24時間浸漬後の塩分を図7に示す。○印が、漂着軽石の実測値であり、点線が漂着軽石を塩分1.0%の塩水と仮定した場合の希釈倍率から得られた塩分の計算値である。例えば、100倍希釈で塩分0.01%の計算値となる。実測値と計算値がほぼ一致したことから、24時間浸漬で漂着軽石に含まれる塩分の殆どが溶出することがわかった。

よって、水道水による24時間の1回浸漬で塩分を0.01%以下にするためには100倍重量以上の水道水が必要であった。

また、軽石の取扱いを考慮して、土嚢袋に入れた漂着軽石5kgを、350kg(70倍)の水槽に投入して、24時間浸漬後の漂着軽石の塩分を調べた(図7中の△印)。その結果、24時間浸漬後の塩分は、バラで浸漬させた同等希釈の塩分とほぼ一致した。このことから、漂着軽石の塩分を除去するため水道水に浸漬する場合は、バラす必要はなく、土嚢袋に詰めて浸漬すれば良いことがわかった。

次に、使用する水道水量を低減するために10倍希釈の12時間浸漬の2回繰り返すと流水による比較試験として、水道水50kgを入れた容器に対して漂着軽石5kgを次の4パターンで浸漬した。A：漂着軽石5kgをバラで浸漬、B：漂着軽石5kgを土嚢袋に詰めて浸漬、C：漂着軽石5kgと石の重しを入れた土嚢袋を水中に沈めた状態で浸漬、D：土嚢袋を浸漬した水槽に一定流量の水道水を24時間かけ流し。なお、A、B、Cについては、漂着軽石の12時間浸漬後に漂着軽石及び土嚢袋を回収して水道水を廃棄し、新たな水道水50kgに回収した漂着軽石及び土嚢袋を続けて投入して12時間浸漬した。24時間浸漬後の漂着軽石の塩分を表1に示す。24時間後の塩分の低い方から、D：かけ流し<C：土嚢袋(沈漬)<A：バラ<B：土嚢袋という順序になったが、A～Dのいずれの場合でも塩分0.01%以下を達成した。A～Cで必要な水道水は、計100kgで漂着軽石5kgの20倍重量で済んだが、かけ流しのDの場合は181倍の905kgの水道水を必要とするため、自然の流水を利用できる場合には有効である。以上まとめると、簡易的な塩分除去方法としては、市販の土嚢袋に漂着軽石を詰めて、そ

の10倍重量の水に12時間浸漬することを2回繰り返すことで、塩分を0.01%以下にすることが可能であった。作業性の悪い漂着軽石をバラで水に浸漬させることや漂着軽石を強制的に全量を水に沈漬させる必要はないことを明らかにした。

一方、雨水を利用した屋外暴露による塩分除去の効果について検討した。当センター敷地の屋外に漂着軽石2kgをプラスチック製のザルに厚さ4cmで敷き詰めた状態で地上から30cmの高さに設置して2021年11月28日から2022年5月31日まで180日間屋外暴露した。気象庁の統計から最寄りの観測地点(霧島市溝辺)における暴露期間の降水量は、776.5mmであった。

不定期にザルから40g分取して塩分を測定した結果を図8に示す。屋外暴露2か月では塩分が0.2%と高いレベルであったが、半年後には0.01%を下回ることがわかった。しかし、積載状態や暴露条件の違いで塩分低下が変わるので、実際のフレコンで屋外暴露したものを調べるなど検証が必要である。

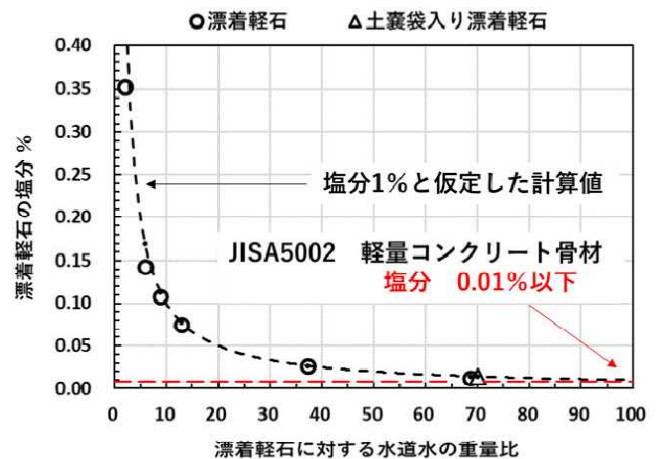


図7 漂着軽石に対する水道水の重量比と24時間浸漬後の塩分

表1 塩分除去方法A, B, C, Dでの24時間後の塩分

水道水を用いた塩分除去方法	塩分%
A：バラ 10倍希釈12時間×2回	0.006
B：土嚢袋 10倍希釈12時間×2回	0.007
C：土嚢袋(沈漬) 10倍希釈12時間×2回	0.004
D：土嚢袋(かけ流し) 24時間	0.003

3. 2 ゼオライト軽石

(地独)神奈川県立産業技術総合研究所と当センターでは、シラス軽石の水に浮く特性を活かして表面のみをゼオライト化した「ゼオライト軽石」の技術開発に成功した⁸⁾。これを応用して、漂着軽石のゼオライト化に取り組んだ結果、軽石表面を覆う緻密なゼオライト生成や軽石構造とゼオライトの一体構造の形成を確認できた^{9) 10)}。

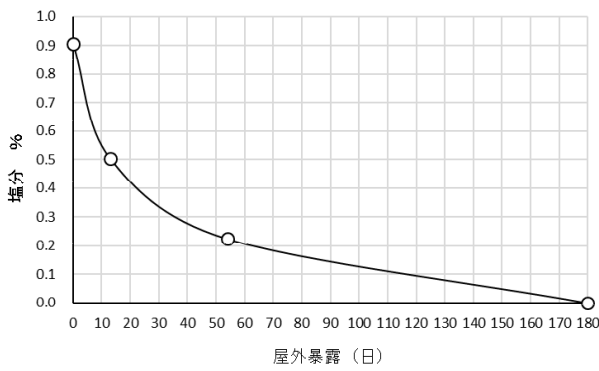


図8 漂着軽石の屋外暴露による塩分の推移

3. 3 釉薬

漂着軽石の焼成温度と溶解性、発色性を確認するため、電気炉で大気雰囲気下1000℃、1100℃、1250℃で各1時間保持させる焼成試験を行った。その結果を図9に示す。比較のために、黒釉薬に用いられる桜島火山灰とシラス軽石についても併行して行った。いずれも1250℃で溶解し、漂着軽石は桜島火山灰と同じく黒色の釉薬に利用できることがわかった。また、1100℃以下の溶解度合いから、漂着軽石は桜島火山灰よりも耐火温度が低いことがわかった。

さらにデータは示さないが、水道水で塩分除去した漂着軽石を同様に焼成試験した結果、1000℃で赤金色、1100℃で銀色に発色することがわかった。この発色は、桜島火山灰やシラス軽石では起こらない漂着軽石のみの特徴であり、塩分除去が漂着軽石そのものの発色に影響するという新たな知見を得た。

漂着軽石を乳鉢で粗粉碎したものを白素地に施釉した猪口と、ボールミルで微粉碎したものを施釉した湯呑の写真を図10に示す。いずれも1100℃30分保持で焼成したが、粉碎の程度でも発色性が異なることがわかった。漂着軽石のみを粉碎した釉薬は、黒、茶、赤金、紫ラメ、銀の多様な色の釉薬としての利用が期待される。



図9 上段：漂着軽石、中段：シラス軽石、下段：桜島火山灰
左から未焼成、1000℃、1100℃、1250℃



図10 1100℃焼成後の粒度の異なる漂着軽石釉薬
左：粗粉碎（紫ラメ色）、右：微粉碎（茶色）

3. 4 浮漁礁

漂着軽石の最大の特徴は、噴火から2か月以上に渡って漂流して浮き続けた圧倒的な浮力にある。そこで、漂着軽石を少量のモルタルで結合させた無筋の多孔質ブロックを作製し、浮漁礁として利用することを考案した。

篩選別した11mm以上の漂着軽石2kgに対して普通ポルトランドセメント400gと水200gを混ぜたペーストと混練してよく馴染ませた後、塩ビ製又はコンパネ製の型枠に入れ、転圧して1日間養生した。養生後脱型し、海上固定用紐を通す1cmの穴を貫通した。無筋であるので、塩分除去していない漂着軽石でもブロック成形が可能である。

鹿児島大学水産学部の江幡恵吾准教授は、2021年12月8日に鹿児島県出水郡長島町の臨海実験所地先において、生け簀に紐で繋いだ漂着軽石ブロックを海上に浮かべて観察を行った。敷設直後と2022年1月14日に撮影した写真（江幡准教授提供）を図11に示す。

1か月以上経過しても十分な浮力を有し、緑藻類がブロック全体に高密度に繁茂した。漂着軽石ブロックは、大小の連通気孔を有し、浮遊しながら海水が上下に浸潤して、緑藻類やその胞子が着床しやすい多孔質構造をしており、太陽光での光合成を促進して緑藻類の成長を促したものと考えられる。また、海上敷設であることから、ウニや貝類の食害の影響を受け難いことも大きな利点であった。なお、今回試作した漂着軽石ブロックの物性は、見掛け比重0.42~0.66、24時間吸水率17~40%で良好な水浮揚性を有するブロックの製造が可能であった。



海上敷設直後 37日経過後
図11 漂着軽石ブロックの浮漁礁試験

4. 結 言

2021年度に南西諸島に漂着した膨大な軽石は、有効な利用方法が確立されておらず大部分が陸上処分されたり、放置されたりしている。環境省や沖縄県の分析によると、重金属成分は環境基準値内と報告されており、塩分を除去することで、土壌改良材などの農業用資材や軽量骨材として利用が期待できる。それ以外にも鹿児島県で昭和28年から取り組んできたシラスの工業的利用（図12）に示された製品への利用が考えられる。

さらに、漂着軽石は、赤金、銀、紫ラメ、茶、黒の特異な釉薬発色性を有しており、混ぜ物をせず漂着軽石100%を粉砕するだけで釉薬に利用できる。漂着軽石ブロックについては、引き続き鹿児島大学水産学部と共同で海上での浮魚礁実験を行う計画である。

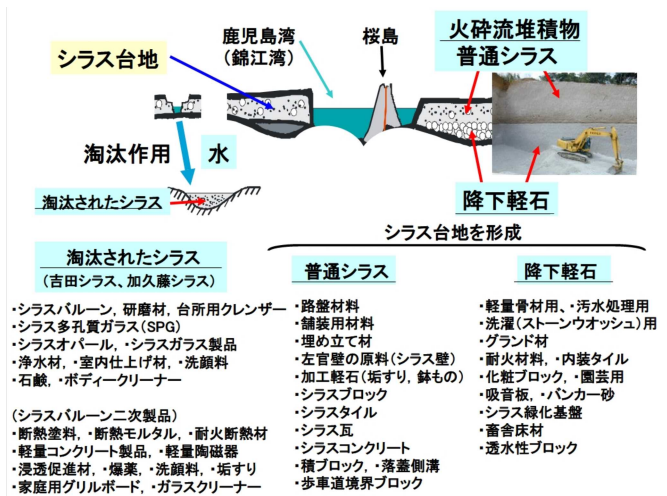


図12 シラスの工業的利用

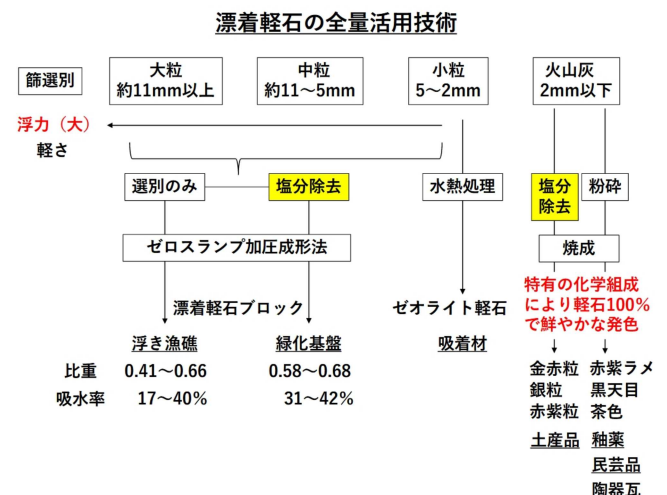


図13 漂着軽石の全量活用技術

これまでの桜島火山灰やシラスの工業的利用を踏まえて、漂着軽石の全量活用技術についての提案を図13に示す。漂着軽石の有効利用の一助となれば幸いである。

以上の調査研究の成果は、2021年12月18日の南日本新聞、2022年1月28日のNHKおはよう日本ほかで紹介された。

謝 辞

漂着軽石を土嚢袋に詰めて発送頂いた鹿児島県大島支庁沖永良部事務所建設課の出口博之課長及び浮魚礁の調査を行って頂きました鹿児島大学水産学部の江幡恵吾准教授、松岡翠技術職員に御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 第8回沖縄県軽石問題対策会議報告事項
https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/seibi/documents/taisakukaig_8_220527.pdf
 (閲覧日 2022-6-29)
- 2) 中野 俊:西之表からの贈り物:小笠原群島への漂着物, GSJ地質ニュース, 10(12), 299-305 (2021)
- 3) 及川輝樹ら:福徳岡ノ場火山2021年噴火と軽石の漂流, GSJ地質ニュース, 11(3), 65-72 (2022)
- 4) 沖縄県, 「漂着軽石の特性について」
https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/seibi/documents/soseibunseki_220301.pdf
 (閲覧日 2022-6-29)
- 5) 環境省, 「漂着軽石の環境安全性に関する調査結果について」
https://www.env.go.jp/water/dojo/karuishi_2022.pdf
 (閲覧日 2022-6-29)
- 6) 沖縄県, 「県内に漂着した軽石の分析結果について」
<https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/seibi/documents/taisakukaigisiryou.pdf>
 (閲覧日 2022-6-29)
- 7) 増島 博:農業土木技術者のための水質入門 (その2) - 水質と作物生育-, 農業土木学会誌, 52(9), p51-56 (1984)
- 8) Y. Ono, T. Masunaga, K. Sodeyama: *Microporous and Mesoporous Materials*, 328, 111500 (2021)
- 9) 小野洋介, 増永卓朗, 袖山研一: KISTEC研究報告, 15-16 (2022)
- 10) 小野洋介:軽石から作製した「ゼオライト軽石」, 日本ゼオライト学会誌「ゼオライト」, 39(4), p144-148 (2022)

